

## X線イメージングによるバイメタル剣の解析 Analysis on Bi-metal Sword by X-ray imaging

四角 隆二<sup>a</sup>, 中井 泉<sup>b</sup>, 阿部 善也<sup>b</sup>, 八木 直人<sup>c</sup>, 伊藤 真義<sup>c</sup>  
Ryuji Shikaku<sup>a</sup>, Izumi Nakai<sup>b</sup>, Yoshinari Abe<sup>b</sup>, Naoto Yagi<sup>c</sup>, Masayoshi Itou<sup>c</sup>

<sup>a</sup>岡山市立オリエント美術館, <sup>b</sup>東京理科大学, <sup>c</sup>(公財)高輝度光科学研究センター  
<sup>a</sup>Okayama Orient Museum, <sup>b</sup>Tokyo University of Science, <sup>c</sup>JASRI

イラン北部カスピ海南西岸の古墓由来とされる博物館資料のバイメタル剣(青銅と鉄を組み合わせた剣)について、X線イメージング実験を行った。約3000年前のイラン北部に特徴的に見られるバイメタル剣のX線透過画像撮影はたびたび試みられてきたが、直径2センチを超える剣の柄を貫通するにはエネルギーが足りなかった。このたび、BL08Wにおいて116 keVの強力なX線を用いた結果、非破壊でバイメタル剣の柄内部の鮮明な画像撮影に成功した

**キーワード：** 青銅器、鉄器、バイメタル技術、初期鉄器時代、イラン北部、X線イメージング

### 背景と目的：

本実験ではイラン北部、カスピ海南西岸の古墓由来とされる博物館資料の青銅剣9振について、X線イメージング実験を行った。持ち込んだ資料は青銅器時代末～初期鉄器時代(約3000年前)に年代づけられており、該期に特徴的なバイメタル技術(銅と鉄を組み合わせる技術)が用いられた作例と、これに対比できる青銅刃青銅柄剣を含む。一見、青銅剣にしか見えない剣の柄内部に鉄芯を埋め込んだ鉄芯青銅剣の存在は過去にも散発的に指摘されていたが[1, 2]、2001年に報告者の勤務する岡山市立オリエント美術館所蔵品の中から複数例が「発見」され、注意を喚起したものである[3]。近年、鉄芯青銅剣の存在について批判的な見解が発表されたが[4]、この批判については1)資料そのものに問題がある上、2)根拠として提出されたX線画像は不鮮明なもので、説得力を欠いていた。というのも分析資料である青銅剣の柄は径3 cm程あり、鮮明な画像を得るにはX線が弱すぎたのである。こうした問題を解決するため、本研究では116 keVの強力なX線を用い、鉄芯青銅剣を含むバイメタル剣の柄内部の鮮明な透過画像を得ることを目的とした。

古物市場を介して入手された博物館資料を分析対象とする場合、後世の改変の可能性を考慮し、分析資料の選択は慎重でなければならない。本研究に供したイラン北部由来の青銅剣が、古物市場に現れたのは1950年代末といわれている。直後の1960年前後に、考古学者水野清一がテヘラン(イラン)で入手した大原美術館所蔵品4振、1970年にテヘランで蒐集された岡山市立オリエント美術館所蔵品4振の他、先行研究[5]によって近代の改変が明らかな広島大学所蔵剣1振を分析資料とした。

### 実験：

かけがえのない文化財を扱う研究では、非破壊を原則とする。これまでの研究では工業用のX線透過装置を用いても、直径2センチ以上ある青銅の柄を貫通するにはX線のエネルギーが足りず、得られた画像は不鮮明なものだった。そこでBL08Wにおける実験では、115.6 keVという高エネルギーX線を用いた。検出器には、ビームモニター2(浜松ホトニクス社製高解像度X線イメージングユニットAA40+デジタルカメラORCA-Flash2.8)を用い、露光時間は2秒(各画像とも20 msecの100回積算)、カメラ長50 cmとした。X線ビームサイズは約7×3 mm<sup>2</sup>であるので、複数枚の画像を取得し連結することにより広視野画像を得た。

### 結果：

当初の目論見通り、非破壊にて青銅剣の柄内部の2次元画像を得ることに成功した。さらに3次元イメージングを試みたが、上記のX線幅では3次元イメージングには時間がかかりすぎることが判明した。検討の結果、持ち込んだ剣8振の2次元画像を得ることを優先し、3次元画像はバイメタル剣1振について柄基部から5センチほどのデータを得るにとどまった。本実験で確認

した事実は以下の通りである。

- 1)透過画像を撮影した剣全ての柄内部に「芯」が通っていた
- 2)柄内部は中空構造を持つ例と、中実構造をもつ例が存在した。

1)について得られた透過画像を子細に検討した結果、青銅刃青銅柄剣とバイメタル剣(鉄刃青銅柄剣)の柄頭に目視で確認されていた「芯」は、剣身からのびる「茎」(なかご、剣身の柄に隠れる部分)であると結論された。「鉄芯入り」バイメタル剣(青銅刃青銅柄剣)とされるについて、磁石による事前の精査では「鉄芯」は刃基部にまでY字あるいはT字状に広がっていることが確認されていた。得られた透過画像では、「鉄芯」は柄基部から密度の高い金属が確認できるなど後世の作為が認められたことから、慎重な検討が必要である。

#### 考察：

実験の結果、イラン北部に由来する初期鉄器時代の青銅剣、バイメタル剣ともに剣身は有茎式であったことが判明した。さらに有茎式青銅刃青銅柄剣、有茎式鉄刃青銅柄剣のそれぞれに、柄内部の構造に中実、中空の例が確認されたことは特筆に値する。当初、柄の製作技法について、a. 鑄掛け、b. 金属鑲、のいずれかの技法で接合した中実構造を想定していたが、中空構造をもつ例は想定外だった。さて、中実構造の柄の画像を子細に観察すると、当時の鑄造青銅製品によくみられる「ス」の形成が確認できた。2次元画像は幾分不鮮明であったが、3次元イメージングによって得られた横断画像から、「茎」周辺に生成された「ス」の状態を確認できる(図1)。よって、中実構造の剣は同種/異種金属を鑄掛けることによって製作されたもの、と理解する。一方、中空構造を持つ剣については、得られた2次元画像から製作技法を考察することは難しい(図2)。

このたびの実験に供した資料には刃と柄の接合部に近代の改変の可能性ある資料が含まれていたが、柄内部に改変が認められる例はなかった。この柄内部はすべて中実または中空構造に分類できることから、鉄器時代移行期に複数の技術体系が存在していたことが明らかとなった。

特筆すべきは、中実構造の柄に用いられていた同種/異種金属の「鑄掛け」技術が確認されたことである。イラン北部における鉄製利器の使用開始は前13世紀、鉄刃青銅柄のバイメタル剣をもって始まる[6]。つまり、当地における鉄製利器出現の背景に異種金属の「鑄掛け」という、高度な技術をともなっていたのである。

柄内部の構造を把握するには資料の横断画像が欠かせない。特に、中空構造の青銅柄剣については製作技術を考察する上で、3次元イメージング資料の増加を図る必要がある。さらに科学的な発掘で得られた資料の3次元イメージングが可能となれば、鉄器時代移行期の冶金技術の解明に大きな手がかりをえることが期待される。

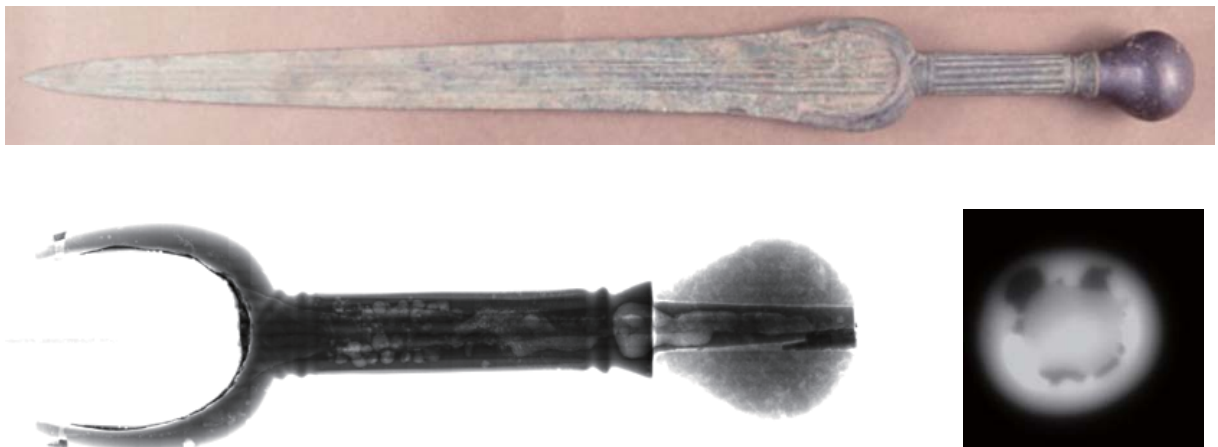


図1. 柄内部が中実構造を持つバイメタル剣(岡山 82-438)の外観(上)と X線イメージング画像(左下)、断層図(右下)



図 2. 柄内部が中空構造をもつバイメタル剣(大原 6632)の外観(上)と X 線イメージング図像(下)

参考文献：

- [1] Wever, G. *Expedition*, **12** (1), 24-27 (1969).
- [2] Moorey, P.R.S. *Catalogue of the Ancient Persian Bronzes in the Ashmolean Museum*. Oxford, Clarendon Press, Oxford, 1971.
- [3] 紺谷、足立編「古代イラン秘宝展」岡山市立オリエント美術館、2002 年。
- [4] Simson, St.J and La Niece, S., *The British Museum Technological Research Bulletin*, **4**, 95-101 (2010).
- [5] 野島永 他、「広島大学考古学研究室所蔵の西アジア青銅柄鉄剣をめぐって」『広島大学大学院文学研究科 帝釈峡遺跡群発掘調査年報』28 : 139-165.
- [6] Haerinck, E., in “Bronze-working Centers in Western Asia c.1000-539 B.C.”, J. Curtis, ed., Kegan Paul International, London and New York, 1988, 63-78.